科学家实现谷光子的长距离保真传输与定向分发

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/20304.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

近日，由中国科学技术大学研究员陈杨、教授吴东、教授褚家如课题组，华中科技大学教授王凯、教授陆培祥课题组与新加坡国立大学教授仇成伟课题组组成的联合团队在谷电子学与微纳光子学交叉领域取得进展，首次实现了基于混合纳米波导的WS2谷光子的长距离保真传输与定向分发。研究成果以Chirality-dependent, unidirectional routing of WS2 valley photons in a nanocircuit为题于10月3日发表在Nature Nanotechnology上。

作为现代科技发展的基石，集成电路(IC)技术在过去五十年取得了巨大成功，其单位面积上可容纳的元器件数每隔18个月便会增加一倍，这就是著名的摩尔定律(Moore ’ s law)。如今，得益于成熟的硅基光刻技术，芯片元件的特征尺寸已经达到了几纳米量级，这也为便携式电子设备、可穿戴器件、大型存储与计算产业的发展奠定了基础。然而，传统集成电路依赖于电子的电荷自由度，由于能耗和量子效应的影响，其芯片尺寸已经接近理论极限。为了进一步缩小芯片尺寸，延续摩尔定律，寻找新的电子自由度并发展新型电子器件已经成为科研界和产业界的重要研究方向。

实际上，电子除了具有电荷自由度，还具有自旋(spin)和能谷(valley)等内禀自由度。其中，能谷指的是晶体布洛赫电子能带的极值点，基于能谷的电子器件相比传统器件有望实现更低的能耗、更少的发热和更快的处理速度。然而，由于能谷的退极化寿命极短且迁移率很小，能谷信息的长距离保真传输问题成为能谷器件发展的关键瓶颈。在过往研究中【Science359,443-447 (2018);Nat Photonics13,180-184 (2019);ACS Nano15,18163-18171 (2021)】，研究人员通常基于能谷与单个波导模式传输方向之间的锁定(valley-direction locking)，实现两个不同能谷的分离，然而在分离过程中能谷信息也随之丢失，无法实现对能谷信息的后处理。

该工作中，yanjiurney创新性地设计并制备了Au-WS2-SiO2-TiO2混合波导(图1a和b)，该波导在WS2激子的谐振波长(630 nm)上同时支持两个传输模(Propagation mode)，这两个传输模都局域分布在SiO2间隙层中被称为间隙模式(Gap mode))，且分别具有对称和反对称的电场分布(图2c)。当同样位于间隙层中的WS2单层受激辐射时，其能谷自由度(K或K ’)作为一种赝自旋(pseudospin)可以等效为具有相反旋性的圆极化电偶极子，并可同时激发这两种间隙模式。由于这两种间隙模式具有不同的有效波矢neff，它们在传输中会叠加产生拍频波(beating wave)，而拍频周期为l= 2 π / (kGM1 – kGM2) = 1261 nm。对应于K和K ’ 能谷的相反赝自旋，其产生的拍频波具有镜像对称的模式分布(图1d)，因而激子的能谷信息被确定性地编码保存在拍频波光子的手性分布中，并低损耗地向前传输，其能谷保真度(FVP)经计算可以达到98%以上。作为对照，如果圆极化电偶极子的波长设定为泵浦激光的波长810

nm，此时该混合波导只支持一个间隙模式，因而不会产生拍频波(图1e)。

这种携带能谷信息的手性拍频模式为能谷信息的后处理奠定了基础。研究人员构建了一种单入双出的谷光子路由器，实现了能谷信息的定向选择性分发。通过调制入射泵浦光的圆偏振，他们可以在输入端选择性地激发K或K’谷激子。当K’谷激子被激发时，产生的谷光子会定向分发到输出端B;相反地，当K谷激子被激发时，产生的谷光子则会定向分发到输出端A(图2)。通过仿真计算，这种能谷路径选择比可以达到0.92，而实际测量值也达到了0.46。经过分析，理论值与测量值之间的偏差主要由入射泵浦光斑的尺寸造成，而WS2中声子辅助的谷间散射造成的能谷退激化效应的影响则比较微弱，这是由于混合波导在间隙中形成的纳腔具有很小的模式面积和很大的Purcell因子，因而谷激子在退极化过程发生前，即通过近场非辐射能量转移过程耦合激发了间隙模式。

进一步，研究人员还展示了能谷信息在三端口环行器中的单向传输，对于K’能谷激子，其对应谷光子只能沿逆时针方向在环行器中传输;对于K能谷激子，其对应谷光子只能沿顺时针方向在环行器中传输(图3)。

这项研究首次实现了能谷信息的长距离保真传输与定向分发，虽然展示的能谷器件功能仍处于初级阶段，但其为下一步搭建大规模谷电子器件网络提供了方案。更重要的是，这种谷电子-光子混合器件为在芯片上同时集成谷电子器件、自旋电子器件与片上光子器件，构建自旋-能谷-光子混合系统提供了新思路。

论文链接

研究团队单位：中国科学技术大学

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发